

ニュートリノをトリガーとする X線による超新星「待ち受け観測」の実現

Hiroyuki Uchida (Kyoto University), on behalf of **AMANE**

**Yudai Suwa, Akihiro Suzuki (The University of Tokyo), Teruaki Enoto, Keiichi Maeda, Roger Wendell
(Kyoto University), Hiromasa Suzuki (University of Miyazaki), Yoshiaki Kanemaru (ISAS/JAXA),
Yusuke Koshio, Fumi Nakanishi (Okayama University), Motoyasu Ikeda, Yudai Suwa, Guillaume Pronost,
Hiroyuki Sekiya, Masayuki Nakahata, (The University of Tokyo)**

最新の超新星爆発理論でも.....

実際の爆発を再現できない。
宇宙の元素組成を一部まったく説明できない。

星はなぜ・どのように爆発するのか？
生命必須元素は宇宙のどこで・どのように生成したか？

超新星爆発の直前、星は不安定になる？

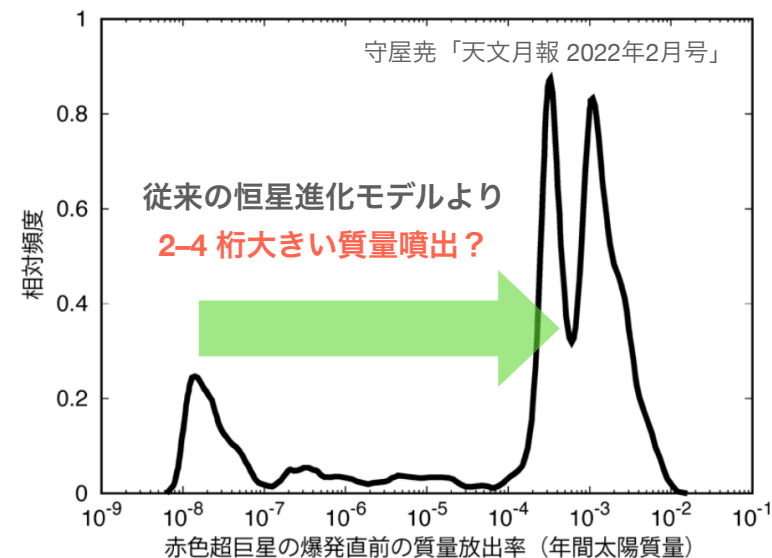
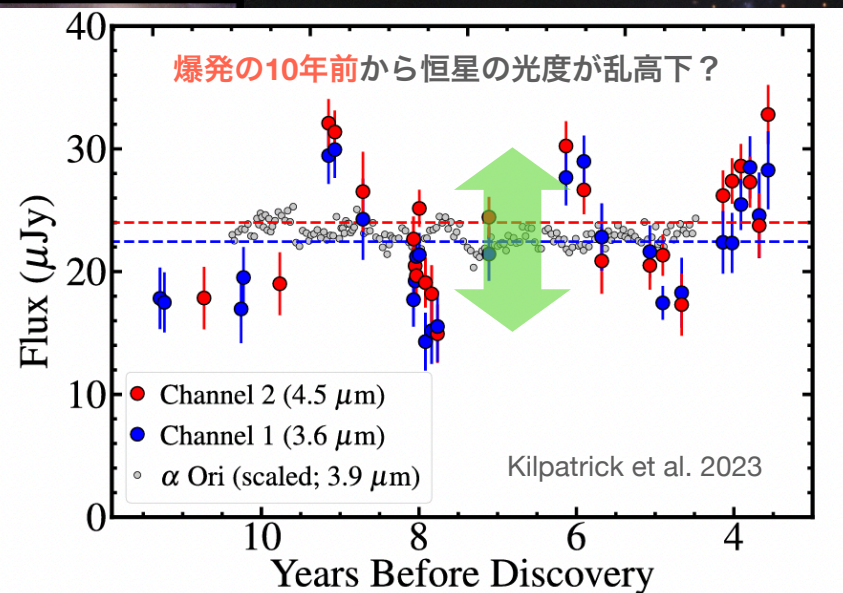
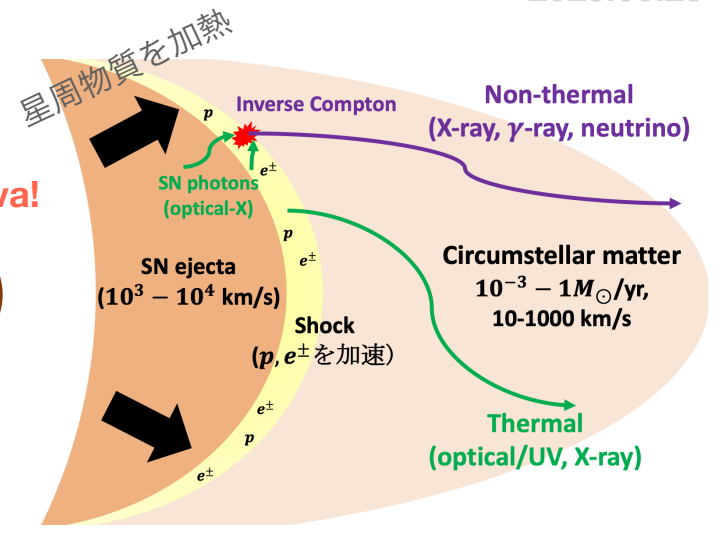
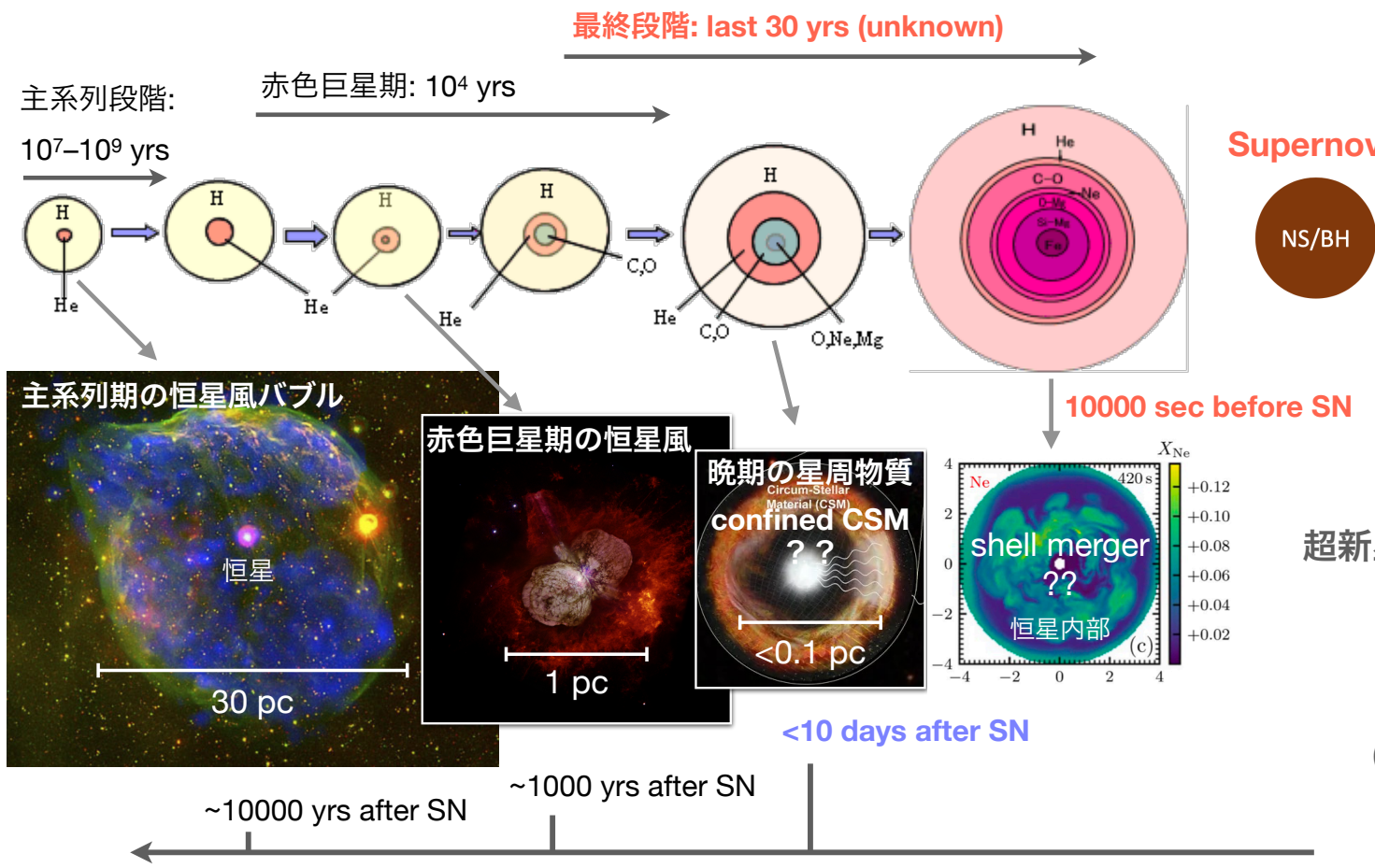


図6 観測された超新星爆発の爆発直後の明るさの変化と数値シミュレーションの比較から得られた赤色超巨星の爆発前数十年間の質量放出率分布. 8割以上の赤色超巨星が爆発直前に年間 10^{-4} 太陽質量以上の質量放出率を持っていることがわかります.

ここ10年で判明した意外な事実：星は爆発の数10年前から不安定に？大規模な質量噴出？
長年の未解決問題に光明が差し初めている。

観測上の最後の砦：星の死の瞬間



超新星の衝撃波が星周物質を加熱。X線で輝く。

X線ライトカーブ=質量噴出の履歴

理論家と放射モデル構築中
(Matsuoka, Narita, HU et al., in prep.)

超新星爆発の 30 yr 前からの恒星の活動史=爆発から数日以内のX線観測が鍵
今の衛星だと最速でも数日かかる。突発天体を観測する体制の強化がこれからの課題。

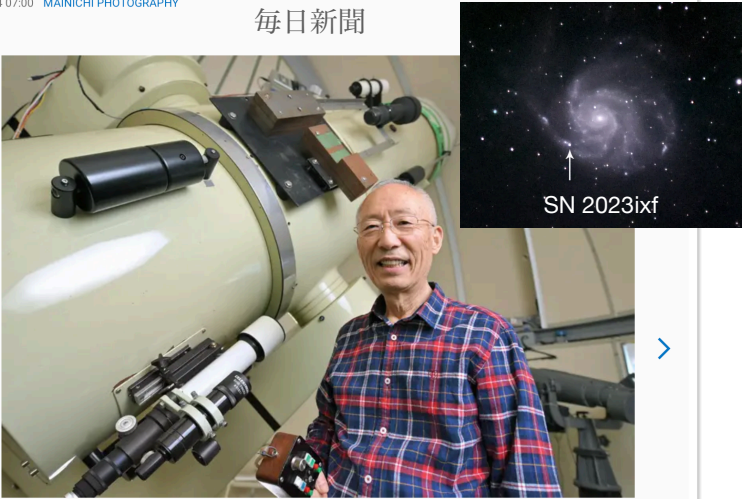
超新星の即時/即応観測の難しさ

超新星の発見はアマチュア天文家の貢献が大きい。爆発後の可視光の光度上昇を「偶然」捉える。

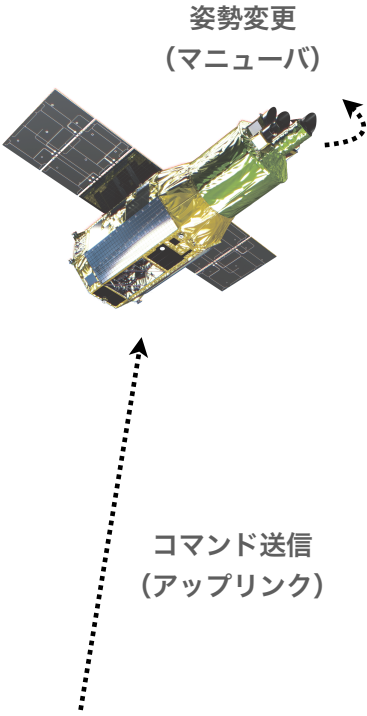
レジェンド超新星ハンター 板垣公一さんの観測所

2024/6/14 07:00 MAINICHI PHOTOGRAPHY

毎日新聞



超新星探索の主力となっている、口径60センチの反射望遠鏡の前で笑顔を見せる板垣公一さん＝山形市で2024年5月27日、手塚耕一郎撮影

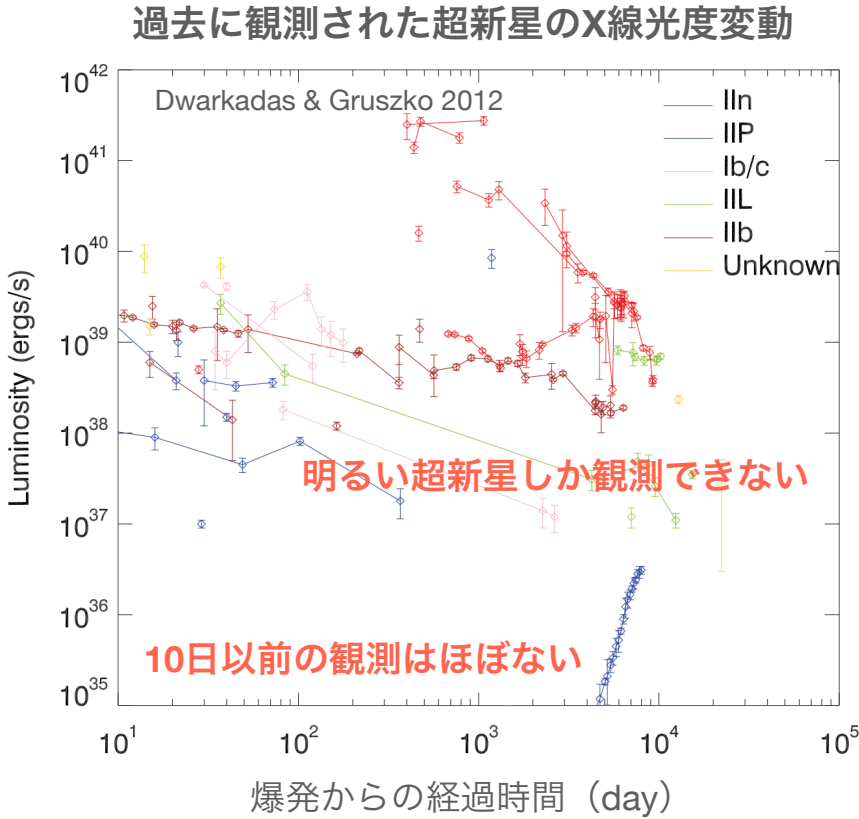


TRANSIENT NAME SERVER

IAU

突発天体の速報システム

Discovery certificate for object 2023ixf



X線観測は特に未開拓。即応性と感度の両方が課題。迅速な衛星運用体制＋大有効面積のX線検出器が必要。 5/16

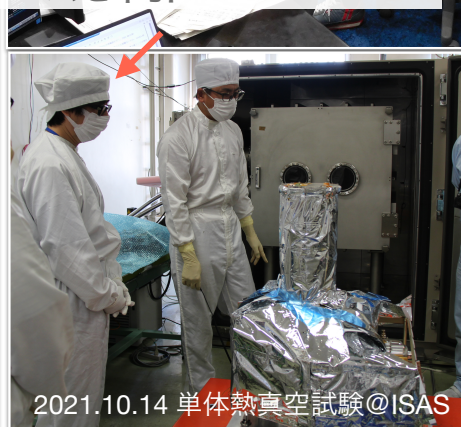
XRISM/Xtend の開発 (2017-2023)

XRISM Xtend の「熱・構造設計」責任者兼、ハウジング、X線発生装置、光漏れ、ベントパイプ、CCD pkg & FPC、広報。

サイエンス検討では "Galactic Diffuse Sources, SN ToO" チームのコアメンバー。



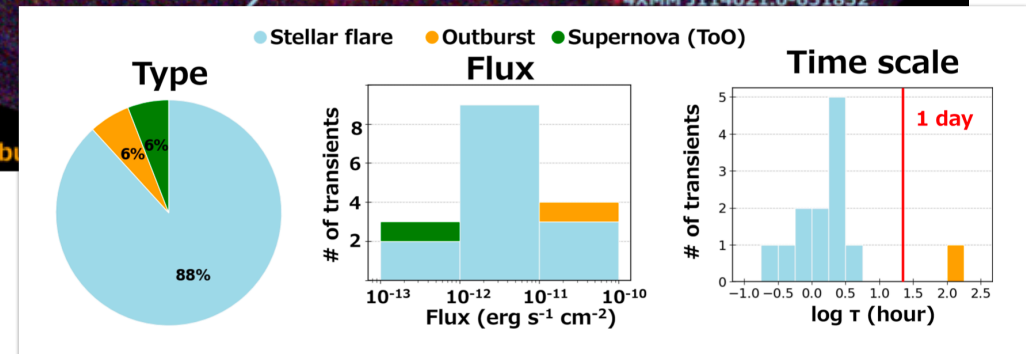
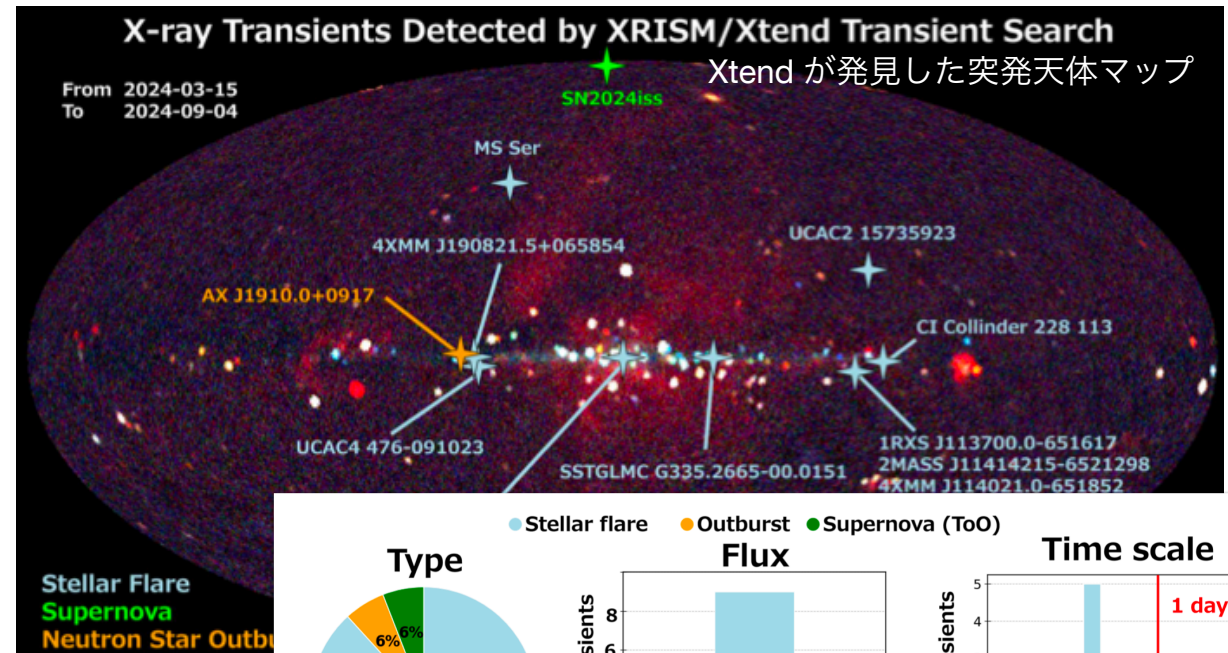
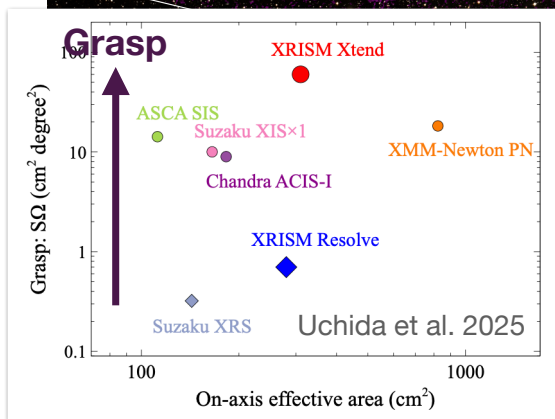
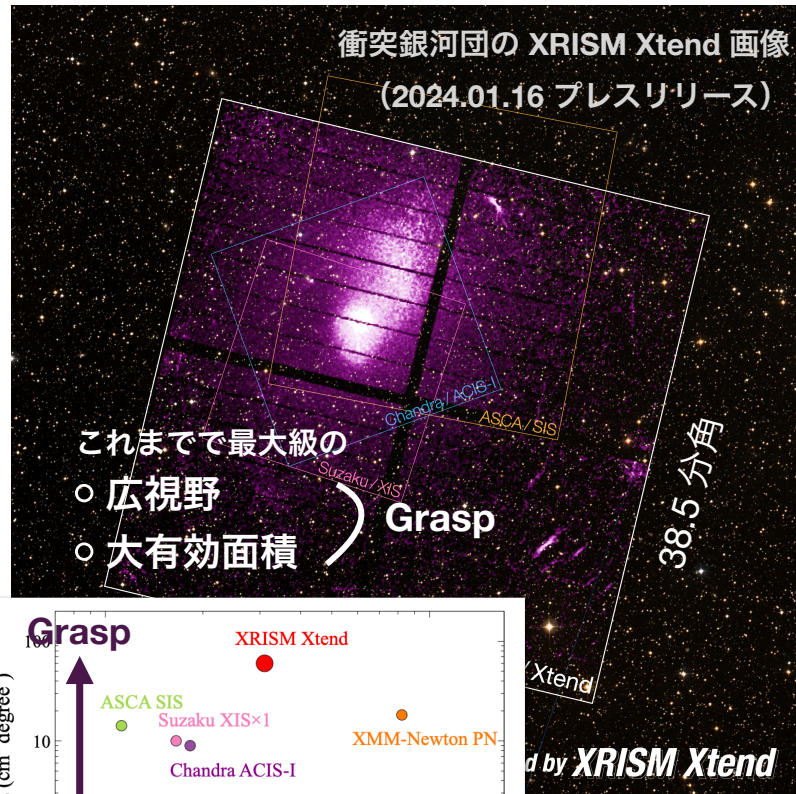
Xtendチーム：大学・JAXA・NASA の17機関スタッフ50名+学生多数で構成
試験計画立案から評価・解析まで開発チームを牽引



日本の第7代X線衛星 XRISM を開発。2023年夏、打ち上げに成功。

XRISM/Xtend を利用した突発天体観測

単焦点X線衛星で最大の視野と有効面積を実現（Uchida et al. 2025）。



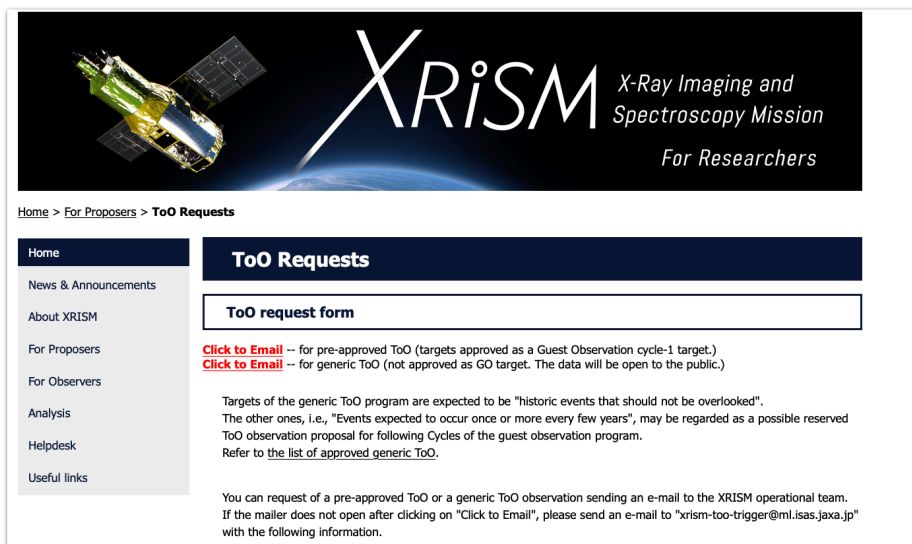
Xtend が発見した突発天体の内訳：恒星フレアが最多。

Xtend の "Large Grasp" は突発天体の追観測・発見に有利。

これを使わない手はない！ → XRISM Supernova team で超新星の即応観測を狙う。

Xtend による超新星の即応観測

XRISM の "Generic ToO" という枠組みを使う。

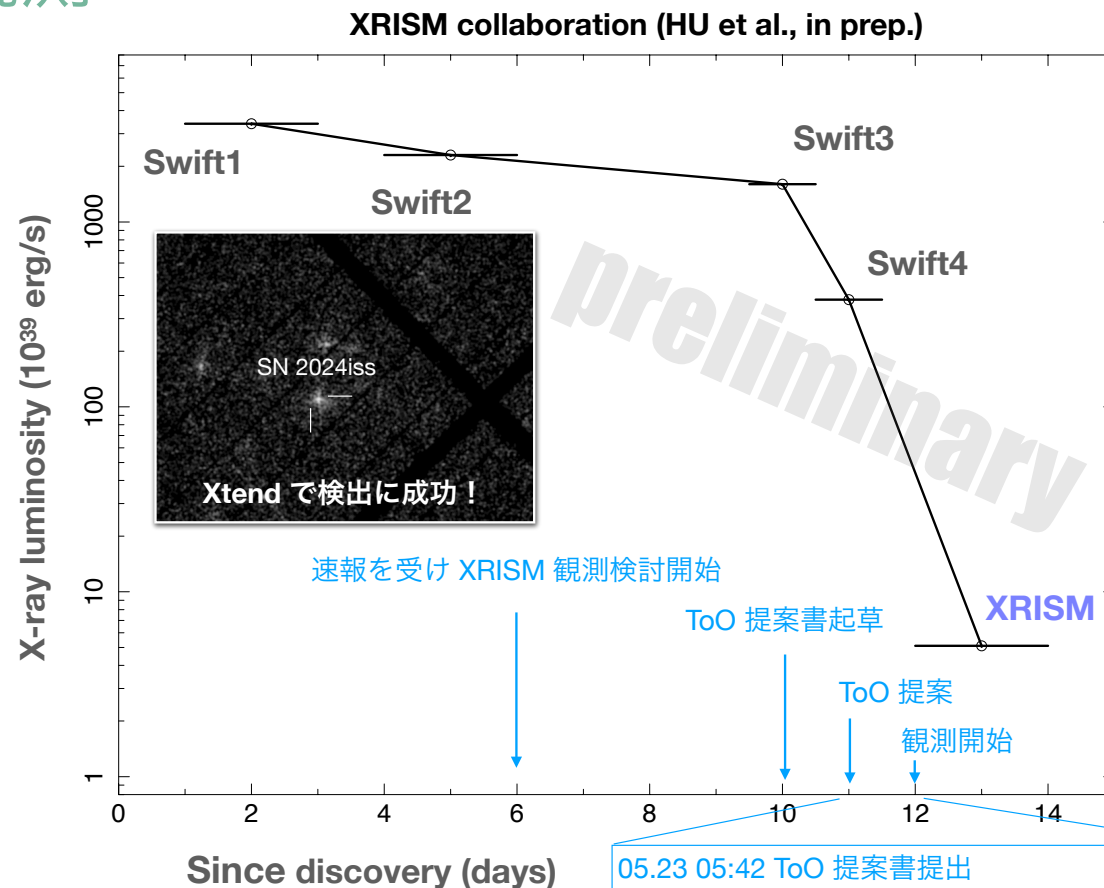


SN 観測キャンペーン@京大を開始

- SN 2023ixf, 2023.5.19 → 爆発前観測 (Matsunaga, HU et al. 2023)
- SN 2024ggi, 2024.4.11 → 爆発前観測 (Komura, HU et al. 2024)
- SN 2024iss, 2024.5.12 → **XRISM ToO (Target of Opportunity)**

発見から10日以上かかってしまったが、、、数日の即応は XRISM でも可能。

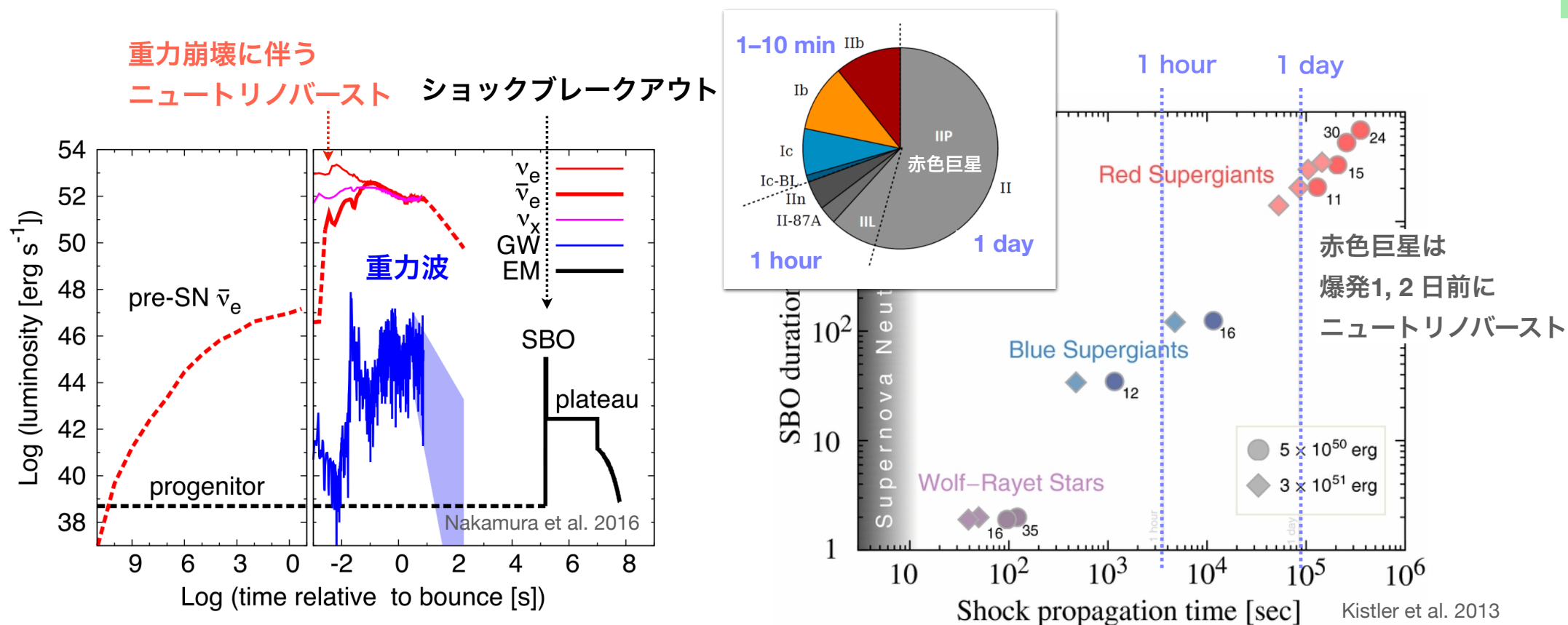
数日より速い観測＝真に爆発の瞬間 を捉えるには??



05.23 05:42 ToO 提案書提出
05.23 19:48 チーム内レビューと質問
05.23 21:51 質問への回答
05.24 09:18 観測提案書受理
05.24 15:24 観測開始

ニュートリノ連携 "史上初" 待ち受け観測

重力崩壊の直後にニュートリノバースト発生 → 衝撃波が恒星表面に出てくるまで猶予がある（外層のサイズによる）。



ニュートリノ＝崩壊の時刻・熱の情報、重力波＝星の回転・密度構造、X線＝爆発時刻・星周環境

Suepr Kamiokande からニュートリノアラートを受け取り、XRISM で爆発前から待機観測を行う。 9/16

Before shock breakout

Stellar surface

Shock front

Core

photon path

衝撃波面で滞留する光子

After shock breakout

Stellar surface

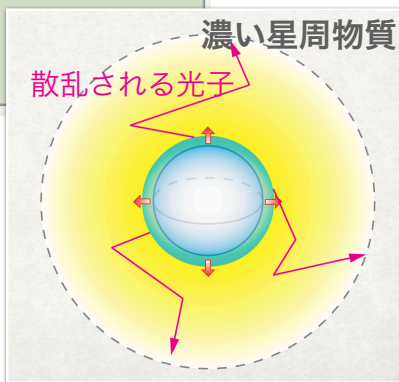
Shock front

Core

恒星表面で放出

散乱される光

- 星の形状（非対称性）
- 星周環境（直近の質量損失履歴）
- 衝撃波速度・表面温度（エネルギー分配）
- etc.

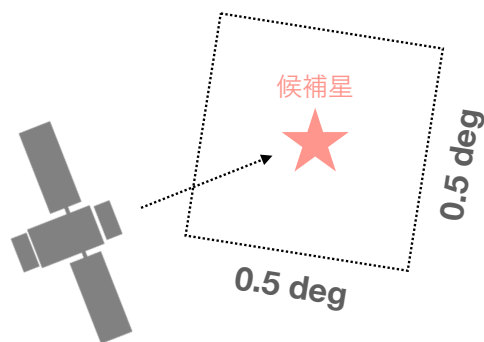


10/16

"史上初"に向けて — XRISM の観測戦略素案

0.1 kpc

KamLAND/SK からの Si 燃焼前兆ニュートリノ

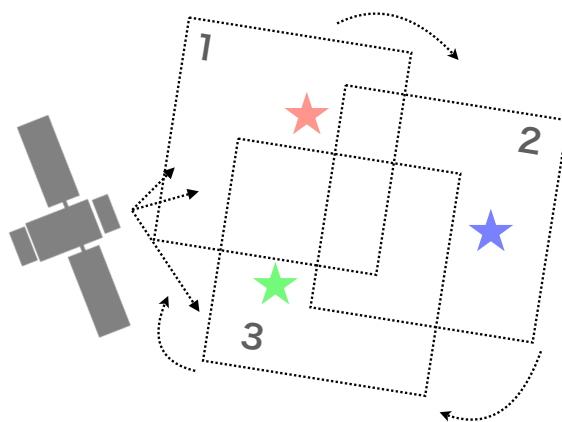


ポインティング観測

※ 太陽角制限等のない近傍星を指向

1–10 kpc

SK-Gd/HK からのニュートリノバースト

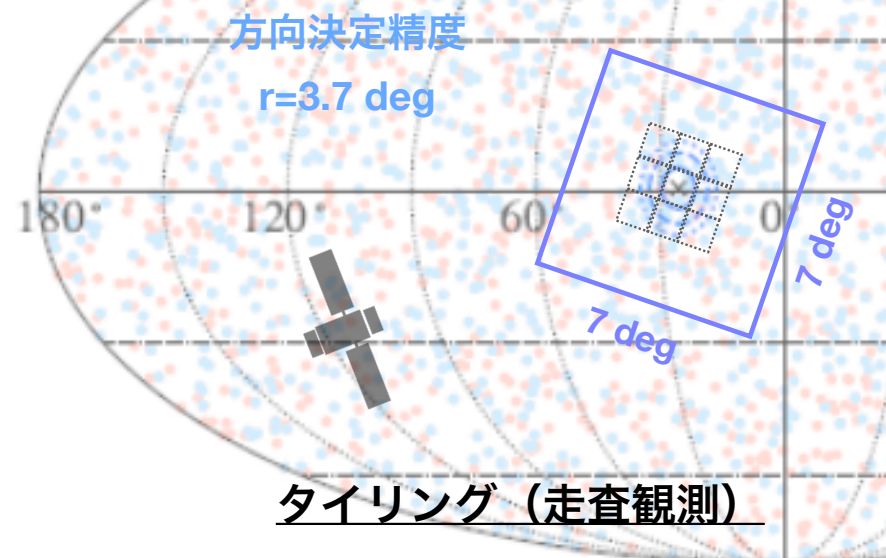


巡回マニューバ

※ 距離と方向から絞り込んだ数天体を見る

>10 kpc

SK-Gd/HK からのニュートリノバースト



タイリング (走査観測)

※ 広範囲を走査しつつ待機

飛来ニュートリノ数 N 等によってアラートの種類を選別。"Golden" (かつ $IBD > 10$) は数分で公開 (GCN Notice)。

MOUを結べば、要求する False alarm rate (例えば数年に1回等) の Low level alert を受け取ることが可能。

超新星の発生した距離に応じて異なる戦略が必要。特に近傍で候補星を特定できれば **single pointing**。実現可能！

近傍超新星の場合の観測戦略

学術変革「地下稀事象」領域研究会
2025.06.25

前兆ニュートリノの事前アラート+赤色巨星リストによる絞り込みで観測可能性を向上。

● O,B,A ● K ● M Name ($M_{\odot}$, kpc)

Mukhopadhyay et al. 2020

Suwa et al. 2024

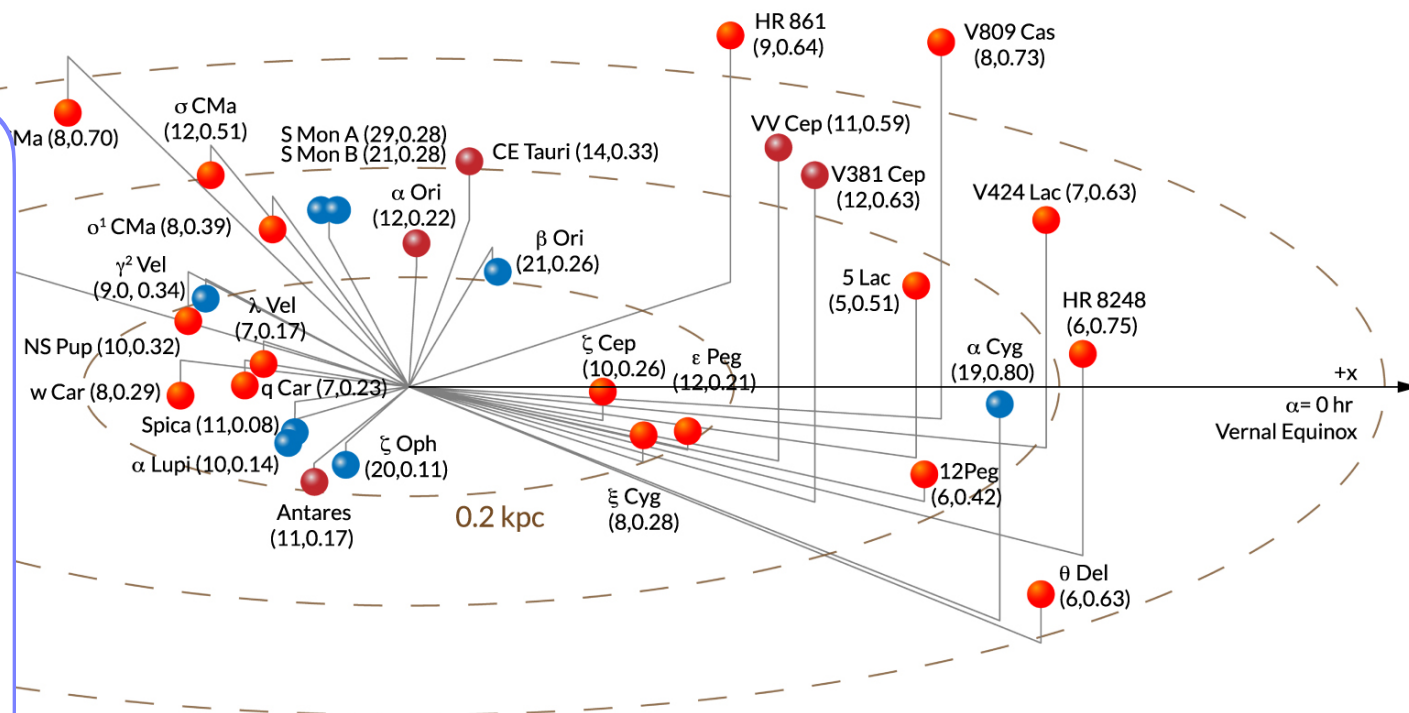
< 10 kpc

Angle
constraint
(~ degree)

SN candidate!

Distance
constraint
(~0.1 kpc)

到来ニュートリノの距離制限
(恒星を候補数個まで絞り込み)



2024年度より、小汐さん（岡山大）、池田さん（東大 ICRR）、ウェンデルさん（京大）と打ち合わせを開始。
迅速な XRISM 運用に向けて、JAXA 運用チームとも折衝を開始。

X線とニュートリノ観測の連携に向けて

学術変革「地下稀事象」領域研究会
2025.06.25



Astro-Multimessenger Alliance for Neutrino and Ex-ray (AMANE) 結成！



Motoyasu Ikeda, Guillaume Pronost,
Hirokazu Ishino, Yosuke Kataoka,
Yusuke Koshio, Atsushi Takeda

Motoyasu Ikeda

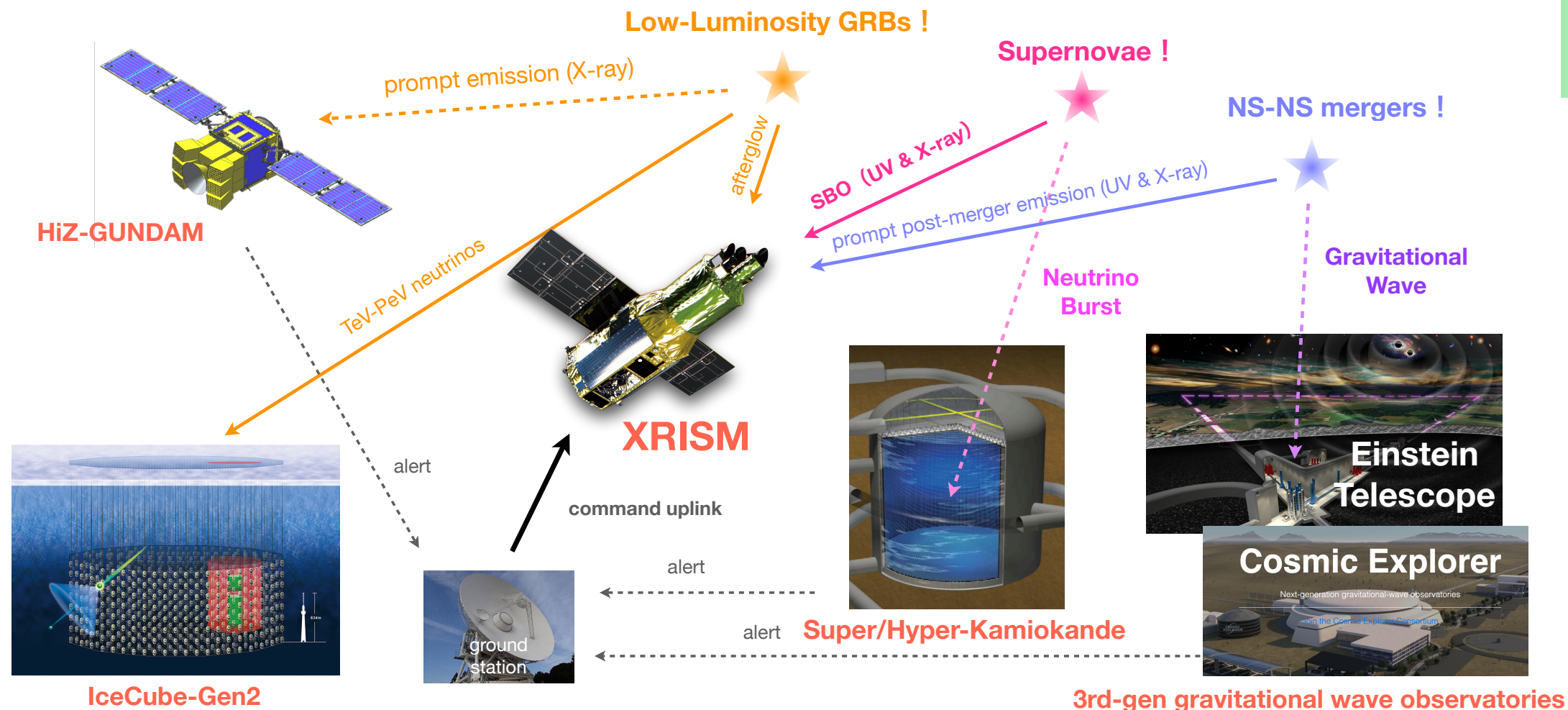


Hiroyuki Uchida, Yudai Suwa, Akihiro
Suzuki, Teruaki Enoto, Keiichi Maeda,
Roger Wendell, Hiromasa Suzuki,
Yoshiaki Kanemaru

Hiroyuki Uchida

AMANE と SK SN conveners 間で連携のための MoU 締結 (2025.5.22)。
今後：ニュートリノアラートを受けた即時観測体制の構築、XRISM の観測戦略の具体化、爆発直後のX線ライトカーブ予測、、、

2030年代のマルチメッセンジャー天文学へ！



年間~60の超新星 etc. + 稀な重要事象の即時観測：2030年代のニュートリノ/重力波観測との連携を強化。

IceCube とも議論を開始。HiZ-GUNDAM 開発にも参入。長期目標として、小回りの効く新型衛星の開発も検討。

まとめ

長年の未解決問題だった超新星の爆発機構について
直前~10年の活動歴が解明の端緒となる可能性が浮上している。

これまで困難だった超新星爆発の直後 ~1日以内の観測が重要。
前兆ニュートリノによる待ち受け観測は大きな breakthrough をもたらす。

日本が打ち上げた最新の衛星 XRISM に搭載の Xtend を利用して
「次」が起きる前に即応観測体制を整えておきたい。

AMANE
Astro-Multimessenger Alliance
for Neutrino and Ex-ray

X線とニュートリノの連携観測を推進します。AMANE をよろしく！